

УДК 629.113.01.012.81

И.Н. Кручинин*, Е.В. Кондрашова**

(I.N.Kruchinin, E.V. Kondrachova)

(*Уральский государственный лесотехнический университет,

**Воронежская государственная лесотехническая академия)



Кондрашова Елена Владимировна родилась в 1977 г., окончила в 2001 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА. Имеет более 100 печатных работ по ресурсосберегающим и экологически перспективным технологиям эксплуатации транспортно-производственных систем лесопромышленного комплекса.

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ (IMPROVING TRANSPORTATION AND USE OF WINTER TIMBER TRANSPORT)

Представленная работа предназначена для проведения анализа функционирования лесовозной транспортной сети в зимних условиях. Цель настоящей работы – построение аналитического описания формирования снежного наката на начальной стадии деформации снега на проезжей части под действием автотранспорта.

This work is intended to analyze the Functioning timber-transport network in winter conditions. The aim of the present work – the construction of an analytic description of the formation of snow on the initial stage of deformation of snow on the roadway under the influence of vehicles.

Эксплуатация зимних лесовозных автомобильных дорог в снежном накате, расположенных в Уральском федеральном округе в условиях пониженной и отрицательной температуры, имеет свои особенности. Прежде всего это использование снега как дорожно-строительного материала.

Способность покрытия зимних автомобильных дорог выдерживать нагрузку от действия подвижного состава будет зависеть от физико-механических свойств снега и снегольда. Механические свойства снега в основном зависят от его твердости, жесткости, плотности, температуры и структуры.

Однако представленный материал и большой накопленный опыт использования снега при строительстве автозимников и снежных аэродромов [1] опирался на то, что снег уплотнялся большими слоями, лежащими

на промерзшем грунтовом основании. При этом для уменьшения эффекта выпрессовывания снега в стороны применялись уплотняющие плиты с большой площадью (гладилки).

Но формирование уплотненного наката на автомобильных дорогах с дорожными одеждами нежесткого типа имеет совсем иные особенности. Во-первых, наибольшая величина рыхлого снега на проезжей части редко превышает несколько сантиметров [2]; во-вторых, уплотнение происходит не специальными снегоуплотняющими машинами, а сравнительно узкими пневмоколесами автомобилей; в-третьих, отсутствует значительная разность температур по высоте снежного наката, что ведет к увеличению теплопроводности снега и уменьшению процесса возгонки-сублимации [3].

В нормативных документах обычно регламентируется только время нормативной очистки от снега. Например, лесовозные автомобильные дороги, эксплуатируемые в зимний период в снежном накате, по своему эксплуатационному состоянию в большинстве случаев можно отнести к III классу, группа В (нормативный срок очистки от снега и ликвидации зимней скользкости – 16 ч), величина наибольшей толщины рыхлого снега на проезжей части – 8 см [2]. В то же время то, как влияет толщина снега на формирование снежного наката, не рассматривается.

Таким образом, для повышения эффективности функционирования лесотранспортной сети в зимний период необходимо уточнить значения нормируемой величины толщины рыхлого снега на проезжей части, влияющего как на формирование снежного наката, так и на эксплуатационные свойства дороги.

Цель работы – построение аналитического описания формирования снежного наката на начальной стадии деформации снега на проезжей части под действием внешней силы, вызванной перемещением автотранспорта.

При анализе деформации снежного покрова от пневмоколес автомобиля воспользуемся теорией пластичности сплошных сред [3]. В произвольной точке сплошной среды состояние напряжения характеризуется симметричным тензором:

$$\mathbf{T}_\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где σ_x , σ_y , σ_z – нормальные напряжения, а τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} – касательные напряжения на площадках, перпендикулярных к координатным осям.

При деформации снежного покрова происходит смещение U , составляющие которого определяются как U_x , U_y , U_z . В случае плоской расчетной схемы задача сводится к отысканию осадки Z пневмоколеса и смещений точек снежной поверхности толщиной L . Свойства снежного покрова оп-

ределяются параметром σ_s , называемым пределом текучести. В этом случае тензор деформации примет вид

$$\mathbf{T}_\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2} \cdot \gamma_{xy} \\ \frac{1}{2} \cdot \gamma_{xy} & \varepsilon_y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где ε_x , ε_y – относительные удлинения соответственно в направлениях осей x , y ;

γ_{xy} – относительные сдвиги (изменение угла между осями x и y).

Так как рассматривается двумерный случай, то выражения для деформаций имеют вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{\partial U_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U_y}{\partial x} \right)^2 \right] = 0, \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial U_y}{\partial y} \right)^2 \right] = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $U = U(x, y)$ – смещения точек снежного покрова, м.

Предполагая, что касательные сдвиги отсутствуют, интенсивность деформации сдвига может быть представлена в виде неотрицательной величины:

$$\Gamma = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(-\varepsilon_y)^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2, \quad (4)$$

где ε_y – относительные удлинения в направлении приложения нагрузки.

Предположив, что снег сжимается неупруго и, рассматривая только пластические деформации, упругую часть можно приравнять к нулю: $\sigma \cdot \varepsilon = 0$. После этого деформация снега на проезжей части $U_0(0)$ будет равна функционалу

$$\begin{aligned} C(U_0) &= \int X_{n_i} \cdot U_0 dS - \int T \cdot \Gamma(U_0) dV, \\ \delta(C(U_0)) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

По теореме Вейерштрасса полученную функцию приближаем равномерно сходящимся степенным рядом:

$$U_0 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot y^n. \quad (6)$$

Подставляя U_0 в функционал (4), мы получаем, что

$$C(U_0) = C(a_0, a_1, \dots, a_n, \dots), \quad (7)$$

Таким образом, функционал (7) теперь зависит от коэффициентов a_i , и минимизацию данного функционала (поиск a_n) можно проводить ме-

тодом Ритца. Предположив, что предел текучести снега в зависимости от деформации имеет вид

$$T = \sigma_{s_0} (\varepsilon + 1), \quad (8)$$

где σ_{s_0} – предел текучести снега в недеформированном состоянии, функционал (7) будет таким:

$$C(U_0) = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} F_y U_0 dx - \int_{y_0}^L dy \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \left(\sigma_{s_0} (\varepsilon + 1) \frac{1}{2} \varepsilon \right) dx, \quad (9)$$

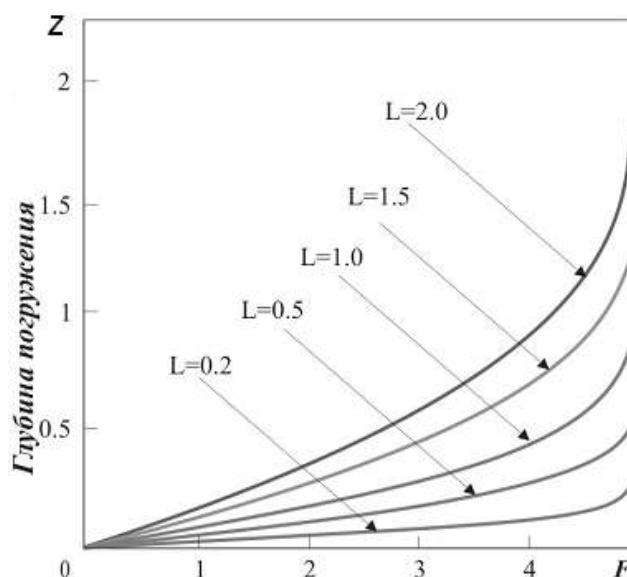
где деформация ε выражается через смещение U_0 .

Окончательно деформация снега под колесом будет описываться линейной функцией вида

$$U(y) = -a_1 (L - y), \quad (10)$$

причем, $a_1 < 0$ и зависит от соотношения действующей нагрузки F_y и предела текучести недеформированного снега σ_{s_0} .

На рисунке представлены значения погружения пневмоколеса в зависимости от приложенной нагрузки и толщины снега на проезжей части в относительных единицах. В исследованиях установлено, что величина деформации снега, а значит, и плотность наката будет определяться как величиной толщины снега на покрытии, так и давлением на него от автотранспорта.



Зависимость погружения пневмоколеса Z от величины нагрузки F при различной толщине снега L на проезжей части

Окончательные результаты аналитических исследований свидетельствуют о том, что смещение точек снежной среды на начальной стадии деформации снежного покрова на проезжей части практически линейно зависит от координаты, однако для отыскания физически адекватной (отлич-

ной от толщины снежного покрова) глубины погружения пневмоколеса необходимо учитывать уплотнение снега в ходе деформации (для этого использовались переменный предел текучести и неоднородное распределение плотности внутри снежного покрова).

Следует отметить, что полученное решение применимо только для условия движения с незначительными скоростями по ненарушенному снежному покрову. Эти условия характерны для перемещения лесовозных автомобилей по территориальным автомобильным дорогам низших технических категорий или автозимникам.

Исходя из проведенного анализа, для Уральского региона величина рыхлого снега на проезжей части автозимников не должна превышать 5 см.

Предложенный подход позволяет качественно оценить процессы, сопровождающие формирование снежного наката на зимних лесовозных автомобильных дорогах, и вырабатывать мероприятия по повышению их транспортно-эксплуатационного состояния.

Библиографический список

1. Крагельский И.В. Технологический анализ орудий для уплотнения снега // Физико-механические свойства снега и их использование в аэродромном и дорожном строительстве. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1945. С. 29–43.
2. Нормативы и организация работ по зимнему содержанию территориальных дорог Пермской области / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2006. 182 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. 232 с.

